



⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑪ **Offenlegungsschrift**
⑫ **DE 197 27 589 A 1**

⑬ Int. Cl.⁶
C 01 B 3/02
C 01 B 3/58
F 01 N 3/10
// H 01 M 8/06

⑭ Aktenzeichen: 197 27 588.3
⑮ Anmeldetag: 28. 6. 97
⑯ Offenlegungstag: 7. 1. 99

DE 197 27 589 A 1

⑰ Anmelder:

DBB Fuel Cell Engines GmbH, 73230 Kirchheim, DE

⑱ Erfinder:

Aurenrieth, Rainer, Dipl.-Ing., 89155 Erbach, DE;
Strübel, Barbara, Dipl.-Ing., 89160 Dornstadt, DE

⑳ Entgegenhaltungen:

CE 1 95 44 895 C1-
V/O 96 32 188 A1

JP 77133101 A. Patents Abstracts of Japan,
herausgegeben am 23.5.1995;
JP 3-111838 A. In Patents Abstracts of Japan
Vol 18 (1994) No.382 (E-1680);
JP 3-105403 A. In Patents Abstracts of Japan
Vol 17 (1993) No.452 (C-1099);
JP 1-325401 A. In Patents Abstracts of Japan
Vol 17 (1993) No.162 (C-1042);
JP 3-105202 A. In Patents Abstracts of Japan
Vol 115 (1991) No.297 (C-854);

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉑ Vorrichtung und Verfahren zum Starten der Vorrichtung zur Erzeugung von wasserstoffreichem Gas

㉒ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von wasserstoffreichem Gas mit einem Reformier zur katalytischen Wasserdampfreformierung eines Wasserdampf/Brennstoffgemisches unter Zufuhr von Wärmeenergie, mit einer Gasreinigungsstufe zur Entfernung von Kohlenmonoxid aus dem wasserstoffreichem Gas unter Wärmeabgabe und mit Mitteln zur Übertragung von Wärmeenergie aus der Gasreinigungsstufe in den Reformier. Erfindungsgemäß werden die Reaktionsraten im Reformier und in der Gasreinigungsstufe derart ausgelegt, daß sich in der Vorrichtung durch die Kopplung der beiden Reaktionen ein vorgegebenes Temperaturniveau selbständig einstellt.

DE 197 27 589 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von wasserstoffreichem Gas gemäß dem Oberbegriff des Patentspruchs 1, sowie ein Verfahren zum Starten der Vorrichtung.

Eine gattungsgemäße Vorrichtung zur Wasserdampferzeugung mit einer Vorwärmungsstufe und einer Shiftstufe, die durch eine Wärmeaustauschfläche voneinander getrennt sind, ist aus der JP 4-325401 A bekannt, wobei zumindest ein Teil der für die Wasserdampferzeugung benötigten thermischen Energie von der Gasreinigungsstufe auf die Vorwärmungsstufe übertragen wird.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Erzeugung von wasserstoffreichem Gas zu schaffen, die einfacher und kompakter aufgebaut ist, einen höheren Wärmetransfer und eine verbesserte Gasreinigungsfunktion aufweist. Außerdem ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum einfachen und schnellen Starten der Vorrichtung zu schaffen.

Dieses Problem wird durch eine Vorrichtung beziehungsweise eines Verfahrens mit den Merkmalen des Patentspruchs 1 beziehungsweise 3 gelöst.

Durch die Luftdosierung und anschließende selektive katalytische Oxidation des Kohlenmonoxids kann eine höhere Wärmenutzung in der Gasreinigungsstufe und damit eine bessere Beheizung des Reaktionsraumes gewährleistet werden. Außerdem weist eine selektive Oxidationsstufe gegenüber einer Shiftstufe eine verbesserte Gasreinigungsfunktion auf. Weiterhin weist die Vorrichtung eine gute Kaltstartfähigkeit, ein gutes dynamisches Verhalten bei Lastwechseln und einen verbesserten Wirkungsgrad auf, wodurch ein Einsatz bei mobilen Anwendungen möglich wird. Die verbesserte Wärmeausbeute in der CO-Oxidationsstufe reicht aus, um den Reformer vollständig zu beheizen. Eine zusätzliche Heizvorrichtung wird nicht benötigt. Vielmehr können die beiden Reaktionen durch eine geeignete Auslegung der Reaktionsraten in den beiden Teilvorrichtungen derart gekoppelt werden, daß sich in der Vorrichtung ein vorgegebenes Temperaturniveau selbständig einstellt. Auf eine aufwendige Temperaturregelung kann daher verzichtet werden.

Beim Starten der Vorrichtung kann der CO-Oxidator vorübergehend als katalytischer Brenner betrieben werden, so daß die Vorrichtung einfach und schnell auf die notwendige Betriebstemperatur gebracht werden kann.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen gehen aus den Unteransprüchen und der Beschreibung hervor. Die Erfindung ist nachstehend anhand einer Zeichnung näher beschrieben, wobei:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung von wasserstoffreichem Gas und

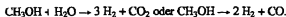
Fig. 2 ein schematisches Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 in Plattenbauweise zeigt.

Die in Fig. 1 insgesamt mit 1 gekennzeichnete Vorrichtung besteht aus einem gemeinsamen Gehäuse 2, in dem eine Vorrichtung 3 zur katalytischen Wasserdampferzeugung eines Wasserdampf/Brennstoffgemisches – im folgenden als Reformer bezeichnet – und eine Vorrichtung 4 zur selektiven Kohlenmonoxid-Oxidation – im folgenden als CO-Oxidator bezeichnet – integriert sind. Die Vorrichtung 1 ist als Wärmetauscher aufgebaut, wobei zwischen dem Reformer 3 und dem CO-Oxidator 4 eine Wärmeaustauschfläche 5 vorgesehen ist. Als Brennstoff kommen beliebige kohlenwasserstoffhaltigen Ausgangsstoffe in Frage, wobei das folgende Ausführungsbeispiel anhand von Methanol als Brennstoff erläutert wird.

Dem Reformer 3 wird über eine Zuleitung 6 ein gasförmiges

Wasserdampf/Methanolgemisch zugeführt. Das Reformat wird dann nach dem Durchströmen des Reformers 3 über eine Reformatzuleitung 7 direkt in den CO-Oxidator 4 geführt. Es ist aber auch möglich, daß der Reformer 3 mehrere Reaktionskammern aufweist, daß die Gasreinigungsstufe 4 mehrere Reinigungskammern aufweist, und daß die Reaktions- und Reinigungsstufen 3, 4 abwechselnd angeordnet sind und jeweils über eine gemeinsame Wärmeaustauschfläche 5 in Wärmekontakt zueinander stehen. Über eine Saugstoffleitung 8 wird dem CO-Oxidator 4 außerdem ein sauerstoffhaltiges Gas – vorzugsweise Luft – zugeführt. Dies kann entweder, wie im Ausführungsbeispiel dargestellt, in die Reformatzuleitung 7 oder auch direkt in den CO-Oxidator 4 beziehungsweise über mehrere über die Reaktions- und Reinigungsstufen 3, 4 erfolgen. Nach dem Durchströmen des CO-Oxidators 4 wird das gereinigte Reformat nun über eine weitere Leitung 9 direkt oder ebenfalls nicht gezeigten Brennstoffzelle oder einer beziehungsweise mehreren weiteren Gasreinigungsstufen zugeführt.

Bei der katalytischen Wasserdampferzeugung von Methanol wird ein Gemisch aus Methanol und Wasserdampf unter Zufuhr von Wärme an einem geeigneten Katalysator zu Wasserstoff umgesetzt, wobei gleichzeitig Kohlendioxid entsteht:



Bei mobilen Anwendungen, beispielsweise bei der Wasserdampferzeugung für Brennstoffzellen in Kraftfahrzeugen, ist es wichtig, daß die benötigte Ausbeute an Wasserstoffgas bei möglichst geringem Platzbedarf und Gewicht bereitgestellt werden kann. Da die Reaktion nur unter Wärmezufuhr abläuft, ist die Ausbeute jedoch abhängig vom Wärmeinput. Daher muß der Reaktor so ausgebildet sein, daß ein optimaler Wärmeübergang von einer bereitgestellten Wärmequelle auf das Reformgas und auf das Katalysatormaterial gewährleistet wird.

Der CO-Oxidator 4 wird zur Entfernung von Kohlenmonoxid CO aus dem Reformer 3 erzeugten H₂-reichen Gas mittels selektiver Oxidation verwendet. Dieses sogenannte Reformat bestehend beispielsweise aus Wasserstoff mit einem CO-Anteil von 0,5–3 Vol%, wird nach entsprechender Reinigung, vorzugsweise für den mobilen Einsatz von PEM-Brennstoffzellen in Fahrzeugen verwendet. Bei der selektiven Oxidation wird dem Reformat über die Sauerstoffleitung 8 zusätzlich Sauerstoff, beispielsweise in Form von Umgebungsluft, zugeführt, wobei dann das Kohlenmonoxid CO durch den Sauerstoff O₂ zu Kohlendioxid CO₂ oxidiert wird. Alternativ kann der Sauerstoff jedoch auch an einer oder mehreren Stellen direkt in den CO-Oxidator 4 eingebracht werden. Diese Reaktion wird an einem geeigneten Oxidatorkatalysator, beispielsweise Platin und/oder Ruthenium auf einem geeigneten Träger, wie Al₂O₃ oder einem Zeolith in Pulverform, durchgeführt. Hierbei wird das Reformat Luft oder Sauerstoff in einem atomaren Verhältnis CO zu O von ungefähr 1 : 1 bis 1 : 4 zugeführt. Um eine vorwiegende Reaktion zwischen dem Sauerstoff und dem Wasserstoff zu verhindern sollte die Reaktion nicht bei Temperaturen oberhalb von 350°C ablaufen. Unterhalb von ungefähr 150°C ist aber auf der anderen Seite die Aktivität des Katalysators für die CO-Oxidation zu gering. Daher sollte die Reaktion in Abhängigkeit vom verwendeten Katalysator in einem vorgegebenen Temperaturintervall, hier ungefähr zwischen 150° und 350°C, ablaufen.

Da es sich bei der CO-Oxidation um eine stark exotherme Reaktion handelt, reicht die im CO-Oxidator 4 freigesetzte und mit Hilfe der Wärmeaustauschfläche 5 auf den Reformer 3 übertragene Energie für eine vollständige Beheizung

des Reformers 3 aus. Durch eine entsprechende Auslegung der Reaktionsraten im Reformer 3 beziehungsweise im CO-Oxidator 4 ist es somit möglich, die beiden Teilvorrichtungen derart thermisch zu koppeln, daß sich das vorgegebene Temperaturniveau selbständig einstellt. Durch diese Anordnung kann für den Reformer 3 beziehungsweise CO-Oxidator 4 auf eine zusätzliche Beheizung beziehungsweise Kühlung, einschließlich zugehöriger Regelkreise, verzichtet werden, wodurch das Gesamtsystem erheblich vereinfacht wird.

Die Auslegung des Reaktionsraten erfolgt bei vorgegebenem Temperaturniveau über die Geometrie der Vorrichtung 1 und/oder über die eingebrachten Katalysatormengen beziehungsweise die Verweilzeiten der Gase im Reformer 3 beziehungsweise CO-Oxidator 4. Die Reaktionsraten werden so eingestellt, daß die vom CO-Oxidator 4 bereitgestellte Energiemenge der vom Reformer 3 benötigten Energiemenge entspricht. Hierbei müssen jedoch auch die von den heißen Gasen aus dem Reformer 3 beziehungsweise CO-Oxidator 4 ausgetragenen Wärmemengen berücksichtigt werden.

Die selbsttätige Einstellung des Temperaturniveaus basiert bei geeigneter Auslegung des Gesamtsystems 1 auf der Natur der beiden gekoppelten Teilprozesse. Wird nämlich im CO-Oxidator 4 mehr Energie freigesetzt, so steigt bedingt dadurch die Temperaturzunahme auch die Reaktionsrate im Reformer 3, wodurch dort mehr Energie verbraucht wird, was schließlich wiederum zu einer Verringerung der Temperatur führt. Auf der anderen Seite führt eine Temperaturverringerung, wie sie durch eine verminderte Reaktionsrate im CO-Oxidator 4 verursacht werden kann, auch zu einer Verringerung der Reaktionsrate im Reformer 3. Dadurch wird weniger Energie im Reformer 3 verbraucht, so daß das Temperaturniveau wieder ansteigt. Dieser Selbstregulierungsmechanismus führt bei einer geeigneten thermischen Kopplung und Auslegung der beiden Teilsysteme zu einer erheblichen Vereinfachung des Gesamtsystems.

Ein Ausführungsbeispiel in schematischer Darstellung zeigt Fig. 2, wobei gegenüber Fig. 1 gleiche Teile mit identischen Bezugszeichen gekennzeichnet sind. Die gezeigte Vorrichtung 1 ist in Plattenbauweise ausgeführt. Die Wärmeaustauschflächen 5 sind im nicht dargestellten Gehäuse in Form von parallel angeordneten Blechen eingebracht. Zwischen den einzelnen Wärmeaustauschflächen 5 sind abwechselnd Reformierungs- und CO-Oxidationskammern 3, 4 gebildet, die wie bereits oben beschrieben, mit geeignetem Katalysatormaterial befüllt sind. Neben der Katalysatorschüttung ist es jedoch ebenfalls möglich, das Katalysatormaterial in anderer Form, beispielsweise durch Beschichtung der Wärmeaustauschflächen und/oder geeigneter Stützstrukturen, in die Reaktionskammern 3, 4 einzubringen. Die Zu- beziehungsweise Abfuhr erfolgt in an sich bekannter Weise über externe Zuführungen oder auch durch entsprechende Bohrungen in den Wärmeaustauschflächen 5. Neben solchen Plattenanordnungen sind jedoch auch Rohrbündelanordnungen für die erfindungsgemäße Vorrichtung geeignet.

Für den Kaltstart der Vorrichtung ist es möglich, den CO-Oxidator 4 vorübergehend als katalytischen Brenner einzusetzen. Hierzu wird während der Startphase ein Brennstoff/Luftgemisch, beispielsweise flüssiges Methanol/Luft oder Wasserdampf/Luft in den CO-Oxidator 4 geleitet und dort am CO-Oxidationskatalysator oxidiert. Durch diese katalytische Oxidation wird Wärmeenergie freigesetzt und damit die gesamte Vorrichtung 1 schnell aufgeheizt. Nach einer vorgegebenen Zeitdauer oder wenn eine vorgegebene Temperatur in der Vorrichtung 1 erreicht ist, wird die Zufuhr des Brennstoff/Luftgemisches zum CO-Oxidator 4 gestoppt. Anschließend wird die Vorrichtung 1 dann in der bereits

oben beschriebenen Art und Weise betrieben.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von wasserstoffreichem Gas mit einem Reformer zur katalytischen Wasserdampfverformierung eines Wasserdampf/Brennstoffgemisches unter Zufuhr von Wärmeenergie, mit einer Gasreinigungsstufe zur Entfernung von Kohlenmonoxid aus dem wasserstoffreichen Gas unter Wärmeabgabe und mit Mitteln zur Übertragung von Wärmeenergie aus der Gasreinigungsstufe in den Reformer, wobei Gasreinigungsstufe und Reformer in einem gemeinsamen Gehäuse integriert sind, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anschluß (8) oder mehrere über der Reaktoröffnung angeordnete Dosierstellen (8') zur Zufuhr eines sauerstoffhaltigen Gases zur Gasreinigungsstufe (4) vorgesehen sind, daß die Gasreinigungsstufe (4) einen Katalysator zur selektiven katalytischen CO-Oxidation enthält, und daß der Reformer (3) und die Gasreinigungsstufe (4) zur Einstellung jeweils vorgegebener Reaktionsraten derart ausgebildet sind, daß sich durch die Kopplung der beiden Reaktionen ein vorgegebenes Temperaturniveau in der Vorrichtung (1) selbsttätig einstellt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reformer (3) mehrere Reaktionskammern aufweist, daß die Gasreinigungsstufe (4) mehrere Reinkammern aufweist, und daß die Reaktions- und Reinkammern (3, 4) abwechselnd angeordnet sind und jeweils über eine gemeinsame Wärmeaustauschfläche (5) in Wärmekontakt zueinander stehen.
3. Verfahren zum Starten der Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß während der Startphase ein Brennstoff/Luftgemisch in die Gasreinigungsstufe (4) geleitet und dort zur Beheizung der Vorrichtung (1) am CO-Oxidationskatalysator oxidiert wird und daß nach Beendigung der Startphase die Zufuhr des Brennstoff-/Luftgemisches zur Gasreinigungsstufe (4) gestoppt, der Reformer (3) durch Zufuhr eines Wasserdampf/Brennstoffgemisches gestartet und das in der Reformer (3) erzeugte Reformat in die Gasreinigungsstufe (4) geleitet wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

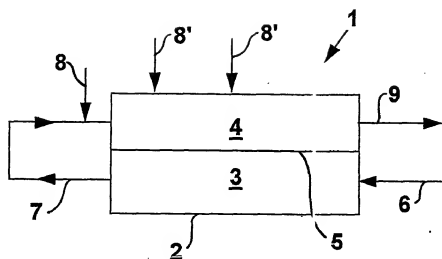


Fig. 2

